



DEÜ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ
Cilt: 13 Sayı: 3 sh. 1- 11 Ekim 2011



DENİZ SUYUNUN FARKLI TİP ÇİMENTOLARLA YAPILAN
HARÇLARA ETKİSİ
(THE EFFECTS OF SEA WATER ON THE MORTARS MADE WITH
DIFFERENT TYPE OF CEMENTS)

Selçuk TÜRKEL* , Ebru ERTEN TARIM**

ÖZET/ABSTRACT

Deniz suyunda bulunan sülfat iyonları çimento harçlarında ve betonda genleşme yaratarak çatlak, dökülme vb. hasarlar oluşturan başlıca problemlerden biridir. Betonların deniz suyu etkilerine dayanıklılığı için düşük su/çimento oranları ile geçirimsiz olacak şekilde üretilmesinin yanı sıra kullanılan çimento tipinin de önemli bir rolü vardır. Bu çalışmada, beş farklı tip çimento kullanılarak iki farklı su/çimento oranında çimento harcı örnekleri üretilmiştir. Hazırlanan örnekler 28 günlük kür süresinden sonra ıslanma-kuruma şeklinde deniz suyu etkisinde bırakılmıştır. Deniz suyunun örnekler üzerindeki etkisi; basınç dayanımı, kılcal yolla su emme, hızlı klor geçirimsizliği ve boyutsal kararlılık deneyleri yapılarak belirlenmiştir. Deney sonuçları deniz suyu etkisinde pozolan katkılı çimentolarla hazırlanan örneklerin portland çimentosuyla hazırlanan örneklerden daha iyi performans sağladığını göstermiştir.

Sulfate ion in seawater is one of the main problems that affect the cement mortars and concrete by creating expansion cracks and spills. For the durability of concrete under the effects of sea water, the type of cement used in the concrete production have an important role as well as at low water / cement ratio which is necessary to be impervious. In this study, the mortar specimens have been produced by the using of five different types of cement at two water/cement proportions. After the 28-days curing, the samples have been exposed to sea water effect in the form of wetting and drying. The effects of sea water on the sample properties have been determined by experiments such as compressive strength, capillary water absorption, rapid chloride permeability and dimensional stability. The results of the experiments showed that using of the pozzolan blended cements could be obtained a better performance from the samples made with the portland cement.

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Çimento, deniz suyu etkisi, mekanik özellikler, fiziksel özellikler
Cement, seawater effect, mechanical properties, physical properties

*DEÜ, İnşaat Müh. Bölümü, Tınaztepe Yerleşkesi, Buca 36160, İZMİR

**Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, BALIKESİR

1. GİRİŞ

Betonarme yapılar deniz suyunda bulunan kimyasal maddeler (klorür, kalsiyum, sodyum, magnezyum ve sülfat iyonları) nedeniyle dayanıklılığını büyük ölçüde yitirebilmektedir (Şengül vd., 2003¹; Baradan vd., 2010; Mehta ve Monterio, 2005). Deniz suyundaki sülfat özellikle beton bileşenlerinden çimento hamurunu etkilemekte olup çimento tipi de bu hamurun kimyasal özelliklerini belirler. Çimentoların sülfata dayanıklılığında yüksek C_3A içeriğinin olumsuz etkisi vardır. Çünkü çimento içinde C_3A varlığıyla oluşan bazı yarı kararlı yapılar, ortama sülfatın girmesiyle bozulur ve genişleyen veya beton bünyesinden uzaklaşan yeni yapılar oluşur (Erdoğan, 2003).

Betonda sülfatın etkisini tespit edebilmek için kullanılan yöntemlerden biri basınç dayanımındaki değişimi gözlemlemektir. Sülfat etkisi ile betonun basınç dayanımında, erken yaşlar hariç artış olmamaktadır (Neville, 2004). Örneğin Erdoğan ve Karataş'ın çalışmasında, deniz suyunun silis dumanı içermeyen numunelerin basınç dayanımlarında, içerenlere göre 56 haftalık bir dönem sonunda %55 düzeyinde bir kayıp oluşturduğu belirlenmiştir (Erdoğan ve Karataş, 2003). Ancak Yazıcı tarafından yapılan çalışmada ise yüksek fırın cürufu içeren örneklerin basınç dayanımında kayıp olmadığı aksine dayanım artışı görüldüğü de ifade edilmiştir (Yazıcı, 2006).

Shannag ve Shaia tarafından yapılan çalışmada, deniz suyunda geçen bir yıllık süreden sonra sülfat etkisine karşı en iyi performansı % 15 silis dumanı ve % 15 doğal puzolan bileşiminden oluşan betonların sağladığı belirtilmiştir (Shannag ve Shaia, 2003). Santhanam, Cohen ve Olek tarafından yapılan çalışmada, sülfatın Portland çimentosu harcında alçıtaşı ve etrenjit oluşturarak bozulmalara sebep olduğu belirlenmiştir (Santhanam vd., 2003). Dongxue vd. sentetik deniz suyunda 28 gün bekletilen Portland çimentolu harçların basınç dayanımlarında bir değişiklik olmazken eğilme dayanımlarının azaldığını, YFC katkılı harçların ise basınç ve özellikle eğilme dayanımında artışlar meydana geldiğini belirtmişlerdir (Dongxue vd., 1997).

Lorenzo vd. özellikle yüksek oranda uçucu kül içeren örneklerin eğilme dayanımlarının yapay deniz suyu etkisinde arttığını belirlemiş ve bu durumun klor, sodyum ve sülfat iyonlarının uçucu külün puzolanik reaksiyonunu aktive etmesiyle açıklamışlardır (Lorenzo vd., 2003). Sibbick vd. yaptıkları çalışmada, deniz suyuna maruz kalan betonlarda meydana gelen hızlı bozulmanın deniz suyunda bulunan magnezyum iyonu saldırısından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Yaptıkları elektron mikroskobu ve XRD analizlerinden tomasit, etrenjit, brusit ve hidrate magnezyum silikat gibi reaksiyon ürünleri oluştuğu belirlenmiştir (Sibbick vd., 2003). Thomas ve Matthews, deniz suyunda uzun süre beklemiş % 30 ile % 50 arasında uçucu kül içeren betonların üstün performans sağladığını saptamışlardır (Thomas ve Matthews, 2004). Boyd ve Mindess düşük S/Ç oranının betonun sülfat saldırısına dayanıklılığı üzerindeki etkisinin çimento tipinden daha baskın olduğunu ortaya koymuştur (Boyd ve Mindess, 2004). Kutlu ve Demiriz, hızlı klor geçirimsizliği ve basınçlı su geçirimsizliği deneylerinde, CEMIII tipi çimento içeren örneklerin düşük geçirimsizliğe sahip olduğunu belirtmişlerdir (Kutlu ve Demiriz, 2007). Chindaprasirt vd., hızlandırılmış klor iyon geçirgenliğinin uçucu kül eklenmesiyle azaldığını saptamış ve bu durumun ortalama gözenek boyutundaki azalma ve ara-yüz bölgesinin gelişimi ile doğru orantılı olduğunu ifade etmişlerdir (Chindaprasirt vd., 2007). Han, çimentonun C_3A oranı arttıkça klor iyonu bağlama yoluyla Friedel Tuzu oluşturma kapasitesinin de arttığını ve böylece örnek yüzeyinde oluşan bağlı klor iyonlarının serbest iyonların geçişini engellediğini belirtmiştir (Han, 2007).

Literatür bilgileri betonun deniz suyu etkilerine dayanıklılığı için geçirimsiz ve düşük su/çimento oranları ile üretilmesinin yanı sıra puzolan katkılı çimento kullanımının da faydası olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada, beş değişik çimento tipiyle iki farklı S/Ç oranında üretilen örneklerin deniz suyunda ıslanma-kuruma çevrimli bekletilmesi ile mekanik ve fiziksel özelliklerde meydana gelen değişimler incelenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Deneylerde kullanılan CEM I 42,5 R, CEM II/A-M(P-W) 42,5 R, CEM II/B-M(P-W) 32,5 R, CEM II/A-W 52,5 N, CEM III/A 42,5 N çimentolarının karma bileşen değerleri ve fiziksel özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir. Çizelge 1’de yer alan karma bileşen oranları, üreticiden alınan klinker analizi değerlerinin çimentoda kullanılan klinker yüzdeleriyle çarpılması ile bulunmuştur. Agregası olarak 4 mm elekten geçirilerek elenmiş doğal kum kullanılmıştır. Kumun özgül ağırlığı (kuru yüzey doygun) 2.570’dir. Karışımlarda şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan deniz suyu Ege Denizi’nden alınmıştır. Kullanılan deniz suyunda bulunan sülfat iyonu (SO_4^{2-}) miktarı 2980 mg/L olup ACI 201.2R’ye göre şiddetli etki sınıfında kabul edilmektedir (ACI 201.2R, 2008).

2.1. Karışımların Hazırlanması ve Kürü

Karışımlar beş farklı çimento tipi ile iki farklı su/çimento oranı (0,485 ve 0,7) ve ince agrega/çimento oranı 2,75 olacak şekilde ASTM C 109 standardı şartlarına uygun olarak hazırlanmıştır (ASTM C 109, 2002). Karıştırma işlemi Hobart mikser ile yapılmıştır. Hazırlanan tüm harçlarda farklılık olmaması için malzeme bileşenlerinin mikser kabına konulma sırası ve karıştırma süreleri aynı tutulmuştur. Harç karışımları ilk olarak mikser kabına kum ve kumun üzerine çimento eklenerek kuru olarak 30 sn karıştırıldıktan sonra su eklenip tüm karışım 90 sn daha karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra ilk önce yayılma tablası yardımıyla harcın işlenebilirliği tespit edilmiştir. Ardından hazırlanan harç, 25x25x285 mm, 40x40x160 mm boyutlu prizmatik (mekanik ve fiziksel deneyler için) ve 100x50 mm boyutlu silindir (klor iyonu geçirgenlik deneyi için) kalıplara iki kademede tokmaklanarak yerleştirildikten sonra sarsma tablası kullanılarak sıkışması sağlanmıştır. Kalıpların sarsma tablası üzerinde tutulma süreleri, 0,485 ve 0,7 su/çimento oranları için sırasıyla 30 ve 10 sn’dir. Kalıplara yerleştirilmiş olan harç, ertesi gün kalıptan çıkarılmak üzere üstü nemli bezle kapatılarak beklemeye alınmıştır. Tüm örnekler deney günlerine kadar kirece doygun ve 20 °C sıcaklığındaki su içinde standart koşullarda kür edilmiştir. Deniz suyu etkisi deneyleri için kullanılan örnekler standart kür (başlangıç kürü) uygulandıktan sonra toplam 115 kez ıslanma-kuruma çevrimli deniz suyu etkisinde kalmışlardır. İçinde örnekler bulunan deniz suyunun pH derecesi yükseldiği için her 30 günde bir deniz suyu değiştirilmiştir. Örnekler ıslanma-kuruma çevrimlerinde, deniz suyu içinde 12 saat tutulduktan sonra 12 saat boyunca laboratuvar koşullarında (~20 °C) kurumaya bırakılmıştır.

Çizelge 1. Çimentoların karma bileşen değerleri ve fiziksel özellikleri

Karma Bil. (%)	CEM I 42,5 R	CEM II/A-M(PW) 42,5R	CEM II/B-M(PW)32,5R	CEM II/A-W 52,5 N	CEM III/A 42,5 N
C ₃ S	58,9	54,89	43,45	56,18	29,9
C ₂ S	12,37	11,5	9,11	11,78	10,78
C ₃ A	7,61	7,08	5,61	7,25	4,23
C ₄ AF	10,46	9,74	7,71	9,97	5,69
Mineral katkı oranları	-	%6 uçucu kül+%5 tras	%20 tras+%5 kalker+%5 uçucu kül	%6 uçucu kül+%4 kalker	%37 y. fırın cürufu+%3 kalker
Özgül ağırlık	3,11	2,97	2,86	3,00	3,02
Blaine (cm ² /g)	3690	3930	4320	4310	4430

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Taze Harç Yayılma Özellikleri

Farklı tip çimentolar ve iki farklı S/Ç oranlarında hazırlanan harç karışımlarının yayılma tablası kullanılarak Çizelge 2’de verilen ortalama yayılma değerleri bulunmuştur. Çimento tipinden bağımsız olarak S/Ç oranının artması yayılma çaplarını arttırmıştır. En düşük yayılma çapı 108 mm olup bu değer 0,485 S/Ç oranında CEM II tipi çimentolarla üretilen harç karışımlarında elde edilmiştir. En yüksek yayılma ise 180 mm olup 0,7 S/Ç oranında CEM I tip çimento kullanılan harç karışımında bulunmuştur. Genellikle aynı S/Ç oranında çimento inceliği arttıkça yayılma çapının düşmesi beklenir. Ancak yapılan deneylerde, aynı S/Ç oranında farklı inceliklere sahip çimentolarla üretilen harçların yayılma çaplarının az da olsa inişli-çıkışlı bir seyir izlediği görülmüştür. Bu durumun büyük olasılıkla Çizelge-1’de verilen çimentoların içerdiği mineral katkıların tipi ve kullanım oranlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 2. Örneklerin ortalama yayılma çapları

	S/Ç oranı	Çimento Tipi				
		CEMI 42,5 R	CEMII/A- M(P-W) 42,5 R	CEMII/B-M (P-W) 32,5 R	CEMII/A- W 52,5 N	CEMIII/A 42,5 N
Ortalama Yayılma	0,485	113	108	108	108	112
Çapları (mm)	0,7	180	177	170	175	178

3.2. Basınç Dayanımı

Çimento harcı örneklerinin eğilme sonrası basınç dayanımı ASTM C 349 standardına göre 40x40x40 mm boyutlu örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir (ASTM C 349, 2002). Suda ve 115 kez ıslanma-kuruma şeklinde deniz suyu etkisinde kalan örneklerin 28. ve 350. günde gerçekleştirilen eğilme sonrası basınç dayanımları topluca Çizelge 3’de verilmiş olup verilen sonuçlar her bir örnek yaşı için 6 örneğin ortalamasıdır.

Deniz suyu etkisinden sonra en yüksek basınç dayanımı CEM II/A-W 52,5N çimentolu örneklerde elde edilmiş olup bu sonuca göre çimentoların dayanım sınıfının mekanik özellikler üzerinde önemli bir faktör olduğunu söylemek mümkündür. CEM II/B-M 32,5R çimentosu ile üretilen örneklerin 350. gün dayanımlarının CEM I 42,5R çimentosuna göre düşük değerde kalması da çimento dayanım sınıfının bir sonucudur. Bunun yanı sıra CEM I 42,5R çimentosu ile aynı dayanım sınıfından olan CEM II/A-M (P-W) 42,5 R ve CEM III/A 42,5N çimentolu örneklerin 0,485 su/çimento oranında deniz suyu etkisine daha uygun olduğu görülmektedir. Bu durum, Boyd ve Mindess’in ifade ettiği S/Ç oranının düşmesinin betonun sülfat saldırısına dayanıklılığı üzerindeki etkisinin çimento tipinden daha baskın olduğu sonucu ile uyumla birlikte çimento tipinin de önemli olduğunu göstermektedir (Boyd ve Mindess, 2004).

Çizelge 3. Örneklerin basınç dayanımı değerleri (MPa)

Su/çim.=0,485		Çimento Tipi				
Zaman (gün)	Bekleme ortamı	CEMI 42,5 R	CEMII/A-M (P-W) 42,5 R	CEMII/B-M (P-W) 32,5 R	CEMII/A-W 52,5 N	CEMIII/A 42,5 N
28	Su	58	57	46	60	50
350	Su	67	66	59	69	62
350	Deniz Suyu	54	55	49	59	53
Su/çim.=0,7						
28	Su	32	33	23	36	33
350	Su	41	45	34	44	41
350	Deniz Suyu	32	34	29	36	33

3.3. Kılcal Su Emme

Kılcal su emme deneyi 40x40x160 mm boyutlu prizmatik örnekler üzerinde ASTM C 1585 deney yöntemine göre gerçekleştirilmiştir (ASTM C 1585, 2004). Örneklerin kılcal yolla emdiği su miktarları dikkate alınarak (1) formülü yardımıyla kılcallık katsayısı (c) değerleri hesaplanmıştır (Baradan, 2003). Örneklerin kılcallık katsayıları ve su emme yüzdeleri (parantez içinde verilen değerler) Çizelge 4’de sunulmuştur.

$$M = \frac{c}{100} \times F \times \sqrt{t} \quad (1)$$

Formülde M emilen su miktarını (g), F su ile temas eden yüzey alanını (cm²) ve t zamanı (dakika) göstermektedir.

Beklendiği gibi S/Ç oranı artışı kılcal su emme miktarlarını da arttırmıştır (Çizelge-4). Ayrıca, kirece doymun su içinde bekletilen örneklerin 28. günde kılcal su emme yüzdeleri daha az iken 350. günde daha fazladır. Bu durumun, çimentoların C₃S karma bileşenlerine ve üretimlerinde kullanılan farklı puzolan tipi ve kullanım oranlarına göre değiştiğini söylemek mümkündür. 350. gün, deniz suyu etkisi görmüş puzolan katkılı örneklerin kılcal yolla su emme değerleri CEM I 42,5R çimentosu ile üretilenlerden az olmuştur. Puzolanlı çimentolarda bu durumun en önemli nedeni, deniz suyunda bulunan klorür ve sodyum iyonlarının puzolanik reaksiyonu aktive ederek hidrasyon ürünü olan Ca(OH)₂ ile daha iyi bağlanması ve zaman ilerledikçe geçirimsizliği arttırmasıdır. Genel olarak, deniz suyunda bekletilen tüm örneklerin kılcal su emme miktarları normal su içinde bekletilenlerden daha düşüktür. Bunun sebebi ise magnezyum iyonlarının kalsiyum iyonlarıyla yaptığı aşağıda gösterilen yer değiştirme reaksiyonudur (Baradan vd., 2010) :



Brusit adıyla bilinen yer değiştirme reaksiyonu ürünü (Mg(OH)₂) çökerek yüzeydeki gözenekleri tıkar ve koruyucu bir tabaka oluşturarak reaksiyonun gelişimini yavaşlatır. Genel olarak bu çalışmada da, deniz suyunda bekleyen tüm örneklerde kılcal yolla emilen su miktarındaki düşme literatürde belirtildiği gibi brusit oluşumuyla gözeneklerin tıkanmasına bağlanmaktadır.

Çizelge 4. Örneklerin kılcallık katsayıları ve kılcal su emme yüzdeleri

Bekleme Koşulu ve Zaman	S/Ç	CEMI 42,5 R	CEMII/A-M (P-W) 42,5 R	CEMII/B-M (P-W) 32,5 R	CEMII/A-W 52,5 N	CEMIII/A 42,5 N
Kirece Doygun Su= 28 Gün	0,485	0,8 (2,37)	0,7 (2,05)	0,8 (2,27)	0,7 (2,03)	0,9 (2,72)
	0,7	1,6 (5,15)	2,1 (6,83)	1,6 (5,15)	1,2 (3,67)	1,4 (4,36)
Kirece Doygun Su= 350 Gün	0,485	1,8 (5,09)	0,9 (2,49)	1,6 (4,57)	0,9 (2,63)	1,1 (3,12)
	0,7	2,0 (6,24)	2,7 (7,23)	2,3 (7,12)	1,8 (5,55)	1,4 (4,36)
Deniz Suyu= 350 Gün	0,485	1,1 (3,07)	0,3 (0,75)	0,8 (2,22)	0,4 (1,11)	0,6 (1,53)
	0,7	1,8 (5,46)	1,0 (2,51)	1,6 (4,91)	0,5 (1,61)	0,8 (2,26)

3.4. Hızlı Klor Geçirirliği

Çizelge 5’de örneklerin yaşına ve kür koşullarına bağlı olarak ASTM C 1202 standardına göre belirlenmiş klor geçirirlilik değerleri sunulmuştur. ASTM C 1202 standardına göre klor geçirirlilik değerlendirme ölçütleri ise aynı tablonun son sütununda verilmiştir (ASTM C 1202, 2007).

Çizelge 5. Örneklerin klor geçirirlilik değerleri (Coulomb)

Değişkenler			Çimento tipine göre geçen yük miktarı (Coulomb)					ASTM C 1202 kriterleri (Coulomb)
Zaman	Koşullar	S/Ç	CEMI 42,5 R	CEMII/A-M (P-W) 42,5R	CEMII/B-M (P-W) 32,5 R	CEMII/A-W 52,5 N	CEMIII/A 42,5 N	
28	Su	0,485	7303	5909	3943	5883	2844	>4000 (Yüksek) 2000-4000 (Orta) 1000-2000 (Düşük) 100-1000 (Çok düşük) <100 (İhmal edilebilir)
		0,7	10197	7516	2515	6841	2334	
350	Su	0,485	2907	1040	358	1618	878	
		0,7	5725	2264	616	3380	723	
350	Deniz Suyu	0,485	2993	2420	688	2090	1013	
		0,7	5826	4891	783	4310	1268	

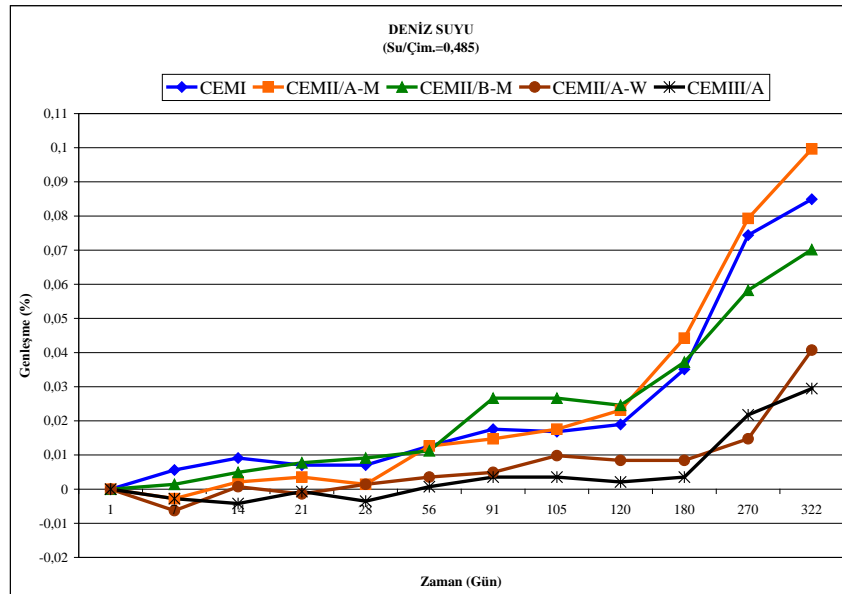
Her iki S/Ç oranında kirece doymun suda 350. günde klor geçirirlilik direnci en yüksek olan örnekler sırasıyla CEM II/B-M 32,5 ve CEM III/A 42,5 çimentosuyla üretilenlerdir. Her iki S/Ç oranında bu çimentolar ile üretilen örneklerin 350. günde klor geçirirliliği, ASTM C 1202 standardı kriterlerine göre “çok düşük” seviyededir. Kirece doymun suda 28. günde dahi bu iki çimento tipinin diğer tiplerden daha geçirimsiz bir yapı oluşturduğu söylenebilir. Bunun sebebi, bu çimento tiplerinin yüksek sayılabilecek oranlarda katkı (%30 tras, kalker, uçucu kül, % 37 oranında yüksek fırın cürufu) içermesi ve inceliğinin yüksek olmasıdır. Yüksek oranda puzolan kullanımının betonun klor geçirirliliğini büyük ölçüde azalttığı değişik araştırmacılar tarafından da belirtilmiştir (Şengül vd., 2003¹; Şengül vd., 2003²; Şengül vd., 2005).

350 gün deniz suyu etkisinde kalan örneklerin klor geçirirlilik değerleri, 350 gün kirece doymun su içinde bekleyenlerden daha fazladır. Deniz suyu etkisiyle örneklerin bünyesine işlemiş olan klorür iyonlarının, deney esnasında oluşan klor iyonu geçişinde köprü görevi gördüğü düşünülmektedir. Puzolan katkılı çimentolar içinde 0,485 ve 0,7 su/çimento oranlarında en fazla klor iyonu geçiren örnek tipi CEM II/A-M (P-W) 42,5R çimentosuyla

üretilemler olmuştur. 350. gün su içinde bekletilen örneklere göre en az klor geçirimliliği gösteren örnek ise C₃A oranı en yüksek olan CEM I 42,5 R tipi çimentoyla üretilenler olmuştur. Bu sonuç, Han tarafından belirtilen “Çimentonun C₃A oranı arttıkça klor iyonu bağlama yoluyla Friedel Tuzu oluşturma kapasitesi de artacaktır. Böylece örnek yüzeyinde oluşan bağlı klor iyonları serbest iyonların geçişine izin vermeyecektir” açıklaması ile desteklenmektedir (Han, 2007). CEM II/B-M (P-W) 32,5 R ve CEM III/A 42,5 N çimento tipleriyle üretilen 350 günlük örnekler her iki S/Ç oranında da diğerlerinden daha az klor geçirimlilik değeri vermişlerdir. Bu çimentolarda bulunan puzolan katkı oranlarının yüksek olması, inceliklerinin fazla olması, daha az C₃S miktarına sahip olmaları geçirimliliği azaltan en önemli faktörlerdir. Bu çalışmada bulunan klor geçirimliliği sonuçlarına benzer sonuçlar başka araştırmacılar tarafından da elde edilmiştir. Yapılan diğer çalışmalarda; Bader S/Ç oranının azalması, Thomas ve Matthews uçucu kül kullanımı, Yiğiter vd. cürufu çimento kullanımı ile klor geçirimliliğinin, portland çimentosu karışımlarından daha az olduğu sonuçlarına ulaşmıştır (Bader, 2003; Thomas ve Matthews, 2004; Yiğiter vd., 2007).

3.5. Boyutsal Kararlılık

Deniz suyunun 322. gün boyunca 5 farklı tip çimento ve 2 farklı S/Ç oranı ile üretilen harç çubuklarında oluşturduğu boyutsal değişim etkisini incelemek için ASTM C 109’a göre hazırlanan 25x25x285 mm boyutlu prizmatik örneklerden elde edilen sonuçlar Şekil 1 ve Şekil 2’de verilmiştir. 350 günde 0,485 S/Ç oranı için en az genleşen örnek CEM III/A 42,5 N çimentosu ile üretilenler olmuştur. CEM III/A 42,5 N çimentolu örneklerin daha az genleşme yapması tüm çimentolar içinde en düşük C₃A oranına sahip olmasına bağlanabilir.

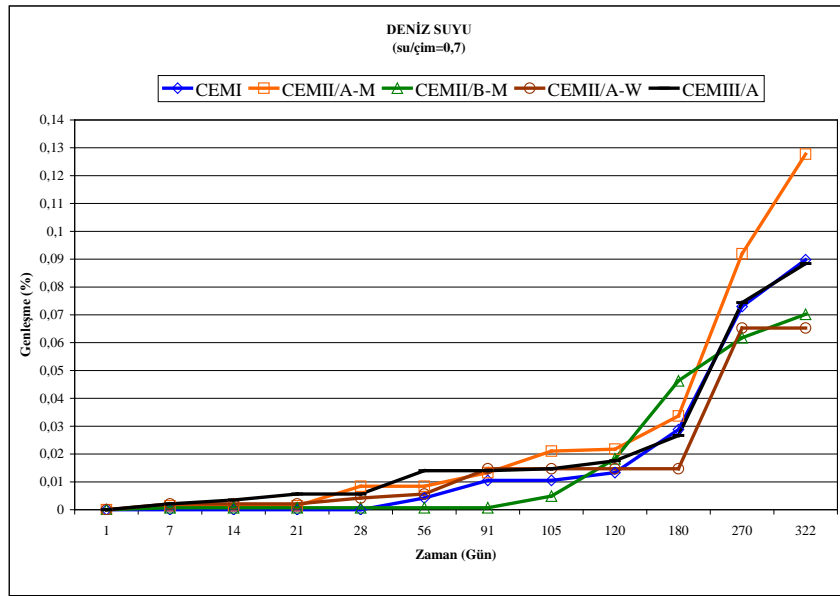


Şekil 1. Deniz suyu etkisinde oluşan genleşmeler (S/Ç=0,485)

350 günde 0,7 S/Ç oranı için en az genleşen örnek CEMII/A-W 52,5 N çimentosu ile üretilenler olmuştur. CEM II/A-W 52,5 N çimentolu örneklerin ise daha az genleşme yapmasının, Santhanam vd. tarafından belirtildiği gibi deniz suyunundaki yüksek Cl⁻ konsantrasyonunun CEM II/A-W 52,5 N çimentosunda bulunan yüksek C₃A bileşeni ile Friedel Tuzu oluşturarak etrenjitin genleşme özelliğini azaltmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Santhanam vd., 2006). CEM III/A 42,5 N ve CEM II/A-W 52,N çimentolarının içeriğindeki mineral katkılar nedeniyle bu çimentolarla üretilen örneklerin daha geçirimsiz olmasının deniz suyu etkisine olan direnci arttırdığı düşünülmektedir. Genel

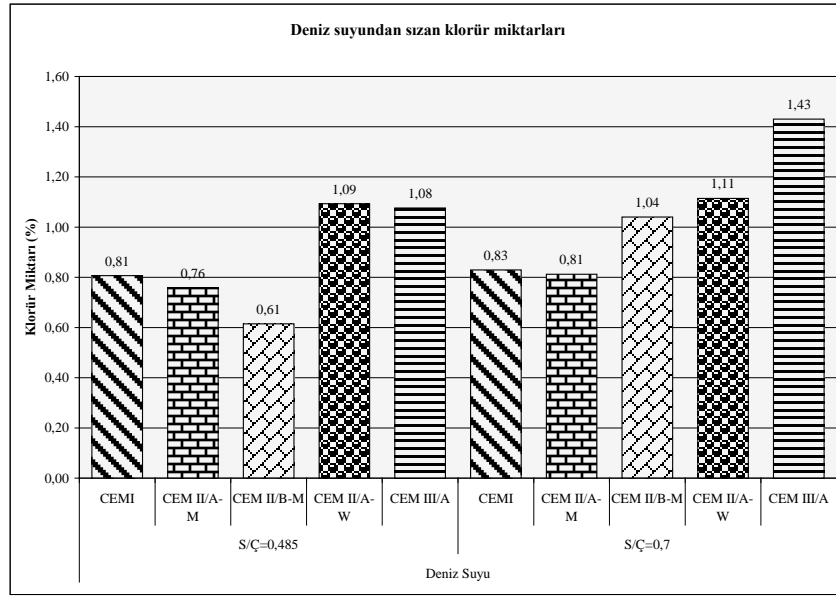
olarak düşük S/Ç oranı sülfat etkilerine dayanıklılığı etkileyen en önemli parametredir. Şahmaran vd. tarafından yapılan araştırmada normal Portland çimentosuyla hazırlanan örneklerde bile S/Ç oranı düştükçe bozulmanın azaldığı şeklindeki ifadeleri bu çalışmadan elde edilen benzer sonuçlar ile uyumludur (Şahmaran vd., 2007).

Deniz sularının içerisinde bulunan klorür iyonları, sülfat reaksiyonları sonucunda $-C_3A$ ile klorürler arasındaki reaksiyondan “Friedel Tuzu” oluşturarak- ortaya çıkan ürünlerin daha az genleşme yaratmasına neden olmaktadır. Çünkü klorür (giriş kısmında da belirtildiği gibi), sülfat saldırısı sonunda betonun içerisinde oluşan alçıtaşının ve etrenjitin bir miktarının çözünerek betonun yüzeyine çıkmasına yol açmaktadır. Böylece, alçıtaşının ve etrenjitin, sertleşmiş betonun içerisinde genleşme yaratıcı etkileri biraz azalmış olmaktadır (Erdoğan, 2003).



Şekil 2. Deniz suyu etkisinde oluşan genleşmeler (S/Ç=0,7)

Şekil 3’de 322 gün deniz suyunda bekleyen örneklerin deniz suyundan bünyelerine sızan klor iyonu (çimento, kum ve sudan gelen klor miktarları çıkarıldıktan sonraki) yüzdeleri görülmektedir. Deniz suyundan sızan klor iyonları harç örneğinden alınan 1 g’lık tozun gümüş nitrat ($AgNO_3$) ve potasyum kromat (K_2CrO_4) yardımıyla titrasyonunun yapılmasıyla belirlenmiştir (Erten, 2009). Şekil-3’den görüldüğü gibi CEM II/A-W 52,5 N ve CEM III/A 42,5 N çimentoları yüksek oranda klorür içermektedir. Yüksek klorür içeriği, Erdoğan (2003) tarafından belirtildiği gibi sülfat saldırısı sonunda betonun içerisinde oluşan alçıtaşının ve etrenjitin bir miktarının çözünerek betonun yüzeyine çıkmasına yol açmakta ve böylece sertleşmiş betonun içerisinde genleşme yaratıcı etkiler biraz azalmaktadır. Bu sonuca ulaşan benzer bir çalışma Kutlu ve Demiriz tarafından yapılmış ve deniz suyundaki sülfatların deniz suyundaki klor miktarının yüksekliği nedeniyle aşırı genleşme oluşturmadığını belirtmişlerdir (Kutlu ve Demiriz, 2007).



Şekil 3. Deniz suyundan sızan klorür miktarları

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Aynı S/Ç oranında farklı inceliklere sahip çimentolarla üretilen harçların yayılma çaplarının az da olsa inişli-çıkışlı bir seyir izlediği görülmüştür. Bu durumun çimentoların içerdiği mineral katkıların tipinden ve bu katkıların kullanım oranlarından kaynaklandığı kanaatine varılmıştır. Mekanik özellikler bakımından deniz suyu etkisine daha yüksek dayanıklılık gösteren katkılı çimentolar için farklı tiplerde ve değişik oranlarda mineral katkı içermeleri, inceliklerinin fazla ve C_3S ile C_3A içeriklerinin az oluşunun etkili olduğunu söylemek mümkündür.

Deniz suyunda ıslanma-kuruma çevrimli bekletilen örneklerin kılcal su emme miktarları deniz suyundaki magnezyum iyonlarının çimentodaki kalsiyum iyonlarıyla yer değiştirmesiyle oluşan brusitin gözenekleri tıkanması nedeniyle kirece doygun su kürüne kıyasla azalmıştır. Puzolan katkılı çimentoların düşük klor iyonu geçirirliliğini, ince olmaları nedeniyle daha iyi hidrasyon gelişimine ve puzolanik reaksiyonlar sonucunda daha geçirimsiz bir yapıya sahip olmalarına bağlamak mümkündür.

Deniz suyunda bulunan sülfat nedeniyle oluşan genleşmeler literatür ile uyumlu bir şekilde düşük S/Ç oranında azalmıştır. Ayrıca deniz suyundan gelen klorür iyonu sülfat reaksiyonları sonucunda ortaya çıkan ürünlerin daha az genleşme yaratmasına neden olduğundan, yüksek oranda klorür içeren CEM II/A-W 52,5 N ve CEM III/A 42,5 N çimentolu örnekler diğer çimentolarla üretilen örneklere kıyasla daha az genleşme yapmışlardır.

Bu çalışmada farklı tipte ve dayanım sınıfındaki çimento harcı örneklerinin deniz suyu etkisine dayanıklılığı incelenmiştir. Ancak aynı çimentolar ile üretilen beton örneklerinin deniz suyu etkisindeki performanslarının araştırılmasının daha gerçekçi sonuçlar verebileceği de dikkate alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- ACI 201.1R (2008): "Guide for Conducting a Visual Inspection of Concrete in Service", American Concrete Institute, Detroit (MI).
- ASTM C 109 (2002): "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars", USA.
- ASTM C 349 (2002): "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using Portions of Prisms Broken in Flexure)", USA.
- ASTM C 1585(2004): "Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes". USA.
- ASTM C 1202(2007): "Standard Test Method For Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration". USA.
- Bader, M. A., (2003): "Performance of concrete in a coastal environment", Cement and Concrete Composites, Cilt 25, s. 539–548.
- Baradan, B., (2003): "İnşaat Mühendisleri İçin Malzeme Bilgisi", İzmir D.E.Ü. Müh. Fak. Yayın No. 307, 394 s.
- Baradan, B., Yazıcı, H. ve Ün, H., (2010): "Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)", İstanbul, 317s.
- Boyd, A.,J. ve Mindess, S., (2004): "The use of tension testing to investigate the effect of w/c ratio and cement type on the resistance of concrete to sulfate attack", Cement and Concrete Research, Cilt 34, s. 373–377.
- Chindaprasirt, P., Chotithanorm, C., Cao, H. T. and Sirivivatnanon, V., (2007): "Influence of fly ash fineness on the chloride penetration of concrete", Construction and Building Materials, Cilt 21, s. 356–361.
- Dongxue, L., Xinhua, F., Xuequan, W. and Mingshu, T.,(1997): "Durability study of steel slag cement", Cement and Concrete Research, Cilt 27, No 7, s. 983-987.
- Erdoğan, T. Y., (2003): "Beton", Ankara, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim Yayınları, 741s.
- Erdoğan, Ş. ve Karataş, E.,(2003): "Sülfat iyonu konsantrasyonu düşük ortamlara maruz betonun durabilitesinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi", 5. Ulusal Beton Kongresi. Bildiriler Kitabı, s.555-565, İstanbul.
- Erten, E.,(2009): "Deniz Suyunun Çimento Tipi Farklı Harçların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Etkisi", İzmir, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 248s.
- Han, S.-H.,(2007): "Influence of diffusion coefficient on chloride ion penetration of concrete structure", Construction and Building Materials, Cilt 21, s. 370–378.
- Kutlu, O. ve Demiriz, M.,(2007): "Cem III tipi çimentoların betonda kullanımının teknik ve ekonomik yönlerinin değerlendirilmesi", 7. Ulusal Beton Kongresi, Bildiriler Kitabı, İstanbul.
- Lorenzo, M. P., Goni, S. and Guerrero, A.,(2003) "Role of aluminous component of fly ash on the durability of portland cement-fly ash pastes in marine environment", Waste Management, Cilt 23, No 8, s. 785-792.
- Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M., (2005): "Concrete: Microstructure, Properties, and Material", McGraw Hill, 548s.
- Neville, A., (2004): "The confused world of sulfate attack on concrete", Cement and Concrete Research, Cilt 34, s. 1275–1296.
- Santhanam, M., Cohen, M. D. ve Olek, J.,(2003): "Effects of gypsum formation on the performance of cement mortars during external sulfate attack", Cement and Concrete Research, Cilt 33, s. 325–332.
- Santhanam, M., Cohen, M. ve Olek, J.,(2006): "Differentiating seawater and groundwater sulfate attack in Portland cement mortars", Cement and Concrete Research, Cilt 36, s. 2132–2137.

- Shannag, M. J. ve Shaia, H. A.,(2003): “Sulfate resistance of high-performance concrete” Cement and Concrete Composites, Cilt 25, s. 363–369.
- Sibbick, T., Fenn, D. and Crammond, N.,(2003): “The occurrence of thaumasite as a product of seawater attack”, Cement and Concrete Composites, Cilt 25, s. 1059–1066.
- Şahmaran, M., Kasap, O., Duru, K. ve Yaman, İ. Ö., (2007): “Effects of mix composition and water–cement ratio on the sulfate resistance of blended cements”, Cement and Concrete Composites, Cilt 29, s.159–167.
- Şengül, Ö., Taşdemir, M. A., Yüceer, Z. ve Erenoğlu, T., (2003¹): “Uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun betonun klor geçirimsizliğine ve basınç dayanımına etkisi”, 5. Ulusal Beton Kongresi Bildiriler Kitabı, s.75-85, İstanbul.
- Şengül, Ö., Taşdemir, M. A. ve Sönmez, R., (2003²): “Yüksek oranda uçucu kül içeren normal ve yüksek dayanımlı betonların klor geçirimsizliği”, 5. Ulusal Beton Kongresi Bildiriler Kitabı, s.483-492, İstanbul.
- Şengül, Ö. ve Gjörv, O. E., (2005): “Öğütülmüş yüksek fırın cürufunun betonda klor iyonu yayılımına etkisi”, 6. Ulusal Beton Kongresi Yüksek Performanslı Betonlar Bildiriler Kitabı, İstanbul.
- Thomas, M. D. A. ve Matthews, J. D., (2004): “Performance of pfa concrete in a marine environment- 10 year results”, Cement and Concrete Composites, Cilt 26, s. 5–20.
- Yazıcı, H., (2006): “Yüksek fırın cürufu katkılı harçların sülfat dayanıklılığının incelenmesi” DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 8, No 1, s. 51–58.
- Yiğiter, H., Yazıcı, H. ve Aydın, S., (2007): “Effects of cement type, water/cement ratio and cement content on sea water resistance of concrete”, Building and Environment, Cilt 42, s. 1770–1776.